

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 B 7/16

G 0 1 B 7/18

B

21/32

21/32

G 0 1 D 7/00

G 0 1 D 7/00

E

G 0 1 L 1/00

G 0 1 L 1/00

D

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願平9-248392

(22) 出願日

平成9年(1997) 9月12日

(71) 出願人 000151520

株式会社東京測器研究所

東京都品川区南大井6丁目8番2号

(72) 発明者 小澤 卓郎

群馬県桐生市相生町4丁目247番地 株式

会社東京測器研究所桐生工場内

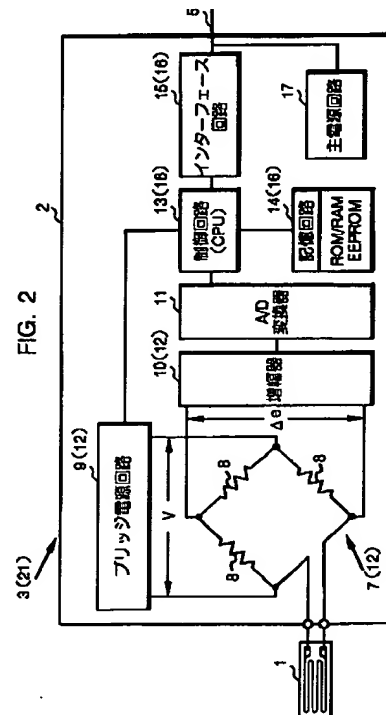
(74) 代理人 弁理士 佐藤 辰彦 (外1名)

(54) 【発明の名称】 ひずみ測定モジュール及び多点ひずみ測定システム

(57) 【要約】

【課題】 接続線による測定精度や測定の安定性等への悪影響を排除して、精度のよいひずみ測定を安定して行うことを可能とし、さらには、ひずみ測定に際しての準備作業や測定データの処理の容易化を図ることができるひずみ測定モジュールを提供する。

【解決手段】 少なくともひずみゲージ1により物体のひずみ量に応じた測定信号 Δe を生成させるための測定信号生成回路12と、測定信号 Δe をデジタルデータに変換するA/D変換器11と、測定信号 Δe のデジタルデータから所定の処理を経て生成してなるデジタルデータを測定出力データとして外部に出力するデータ出力処理手段16とを一体的にモジュール化してなるモジュール本体部2をひずみゲージ1の近傍で接続する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】物体に貼着されるひずみゲージと、少なくとも該ひずみゲージにより前記物体のひずみ量に応じた測定信号を生成させるための測定信号生成回路と、該測定信号をデジタルデータに変換する A/D 変換手段と、該測定信号のデジタルデータ、又は、該デジタルデータから所定の処理を経て生成してなるデジタルデータを測定出力データとして外部に出力するデータ出力処理手段とを一体的にモジュール化してなるモジュール本体部とを有し、

該モジュール本体部を前記ひずみゲージにその近傍で接続してなることを特徴とするひずみ測定モジュール。

【請求項 2】保護用のコーティング部材により被覆された前記ひずみゲージが前記モジュール本体部に一体に装着されていることを特徴とする請求項 1 記載のひずみ測定モジュール。

【請求項 3】保護用のコーティング部材により被覆された前記ひずみゲージが該コーティング部材と共に前記モジュール本体部に着脱可能に装着され、その装着状態で前記ひずみゲージを前記モジュール本体部に電氣的に接続せしめる接続部を前記コーティング部材の外表面に設けたことを特徴とする請求項 1 記載のひずみ測定モジュール。

【請求項 4】前記ひずみゲージが前記モジュール本体部に着脱自在に接続されていることを特徴とする請求項 1 記載のひずみ測定モジュール。

【請求項 5】前記物体の温度を検出する温度センサを備え、前記 A/D 変換手段は、前記温度センサの検出信号をデジタルデータに変換する手段を含み、前記データ出力処理手段は、該温度センサの検出信号のデジタルデータを外部に出力する手段を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のひずみ測定モジュール。

【請求項 6】前記物体の温度を検出する温度センサを備え、前記 A/D 変換手段は、前記温度センサの検出信号をデジタルデータに変換する手段を含み、前記データ出力処理手段は、前記温度センサの検出信号のデジタルデータにより示される前記物体の温度に基づき前記測定出力データを補正して出力する手段を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のひずみ測定モジュール。

【請求項 7】前記ひずみゲージは少なくとも 3 個以上のひずみゲージから成るロゼットゲージであり、前記測定信号生成回路は、該ロゼットゲージの各ひずみゲージ毎に前記測定信号を生成させる手段を含み、前記データ出力処理手段は、各ひずみゲージ毎の前記測定信号のデジタルデータから前記物体の主ひずみ量、剪断ひずみ量、及び主ひずみの方向のうちの少なくとも一つを、前記測定出力データとしてロゼット解析処理により求める手段を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のひずみ測定モジュール。

【請求項 8】複数の物体又は物体の複数部位にそれぞれひずみゲージを貼着して、該ひずみゲージにより各物体又は物体の各部位のひずみ量に応じた測定信号を生成させ、該測定信号に基づき複数の物体又は物体の複数部位についての多点ひずみ測定を行うシステムにおいて、

少なくとも各物体又は物体の各部位に貼着したひずみゲージにより前記測定信号を生成させるための測定信号生成回路と、該測定信号をデジタルデータに変換する A/D 変換手段と、該測定信号のデジタルデータ、又は、該デジタルデータから所定の処理を経て生成してなるデジタルデータを測定出力データとして外部に出力するデータ出力処理手段とを一体的にモジュール化してなるモジュール本体部を有し、該モジュール本体部を前記各物体又は物体の各部位毎のひずみゲージにその近傍でそれぞれ接続してなる複数のひずみ測定モジュールと、

各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段から出力される前記測定出力データを収集して処理すべく各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段と通信可能に設けられた測定データ処理装置とにより構成したことを特徴とする多点ひずみ測定システム。

【請求項 9】前記各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段は、前記測定データ処理装置から該ひずみ測定モジュールに固有の出力動作指令を択一的に該データ出力処理手段に与えることにより、前記測定出力データを前記測定データ処理装置に出力することを特徴とする請求項 8 記載の多点ひずみ測定システム。

【請求項 10】前記測定データ処理装置と各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段とは共通の通信線を介して通信可能に接続されていることを特徴とする請求項 9 記載の多点ひずみ測定システム。

【請求項 11】前記測定データ処理装置は、前記共通の通信線を介して各ひずみ測定モジュールの電源電力を供給する手段を含み、前記各ひずみ測定モジュールのモジュール本体部に前記共通の通信線から該ひずみ測定モジュールの電源電力を抽出する電源手段を備えたことを特徴とする請求項 10 記載の多点ひずみ測定システム。

【請求項 12】前記各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段は、前記測定出力データを記憶保持する記憶手段を備え、前記測定データ処理装置から与えられる各ひずみ測定モジュールに共通の測定開始指令に応じて該測定開始指令が与えられた際の前記 A/D 変換手段の出力に基づく前記測定出力データを前記記憶手段に記憶保持し、その記憶保持した測定出力データを前記出力動作指令に応じて前記データ処理装置に出力することを特徴とする請求項 9 乃至 11 のいずれかに記載の多点ひずみ測定システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、各種物体のひずみを測定するためのひずみ測定モジュール、及びそのひず

みの多点測定を行う多点ひずみ測定システムに関する。

【0002】

【従来の技術】機械、土木、建築等の分野では、機械や構造物等の物体のひずみ量を測定する場合、一般にひずみゲージを用いた測定が行われている。そして、機械や構造物等の物体のひずみ測定においては、該物体の複数部位のひずみ測定を行う多点測定が一般的に行われている。尚、本願明細書では、特に付言しない限り、通常の意味でのひずみの他、物体の応力をも含めて「ひずみ」と言い、通常の意味でのひずみは原則として参照符号 ϵ (添字付も含む) を付するものとする。

【0003】この種のひずみ測定は、通常、図7に示すようなホイートストンブリッジ回路を用いて行われる。すなわち、図7は、例えば1ゲージ法による従来の基本的な測定システムを示しており、ひずみゲージaが、図示しない物体の測定部位に貼着され、接続線c1、c2 *

$$\Delta e = [(R_a R_2 - R_1 R_3) / (R_a + R_1) (R_2 + R_3)] V \quad \dots\dots (1)$$

この場合、ひずみゲージaの通常時の抵抗値をRとしたとき、 $R_1 = R_2 = R_3 = R$ とするのが一般的で、このとき、物体のひずみに伴うひずみゲージaの抵抗値の変化分を ΔR ($R_a = R + \Delta R$) とすると、 $\Delta R \ll R$ であることを考慮して、式(1)は次式(2)に書き換えられる。

$$\Delta e = (\Delta R / 4R) V \quad \dots\dots (2)$$

また、ひずみゲージaの抵抗値R及びその変化分 ΔR と、該ひずみゲージaを貼着した物体の測定部位のひずみ量 ϵ (ここでは引っ張りあるいは圧縮方向での通常の意味でのひずみ量)との間には、次の関係式(3)が成立し、

$$\epsilon = (\Delta R / R) / K \quad \dots\dots (3)$$

但し、Kはひずみゲージaのゲージ率

この関係式(3)と前記式(2)とから次式(4)あるいは(4)'が得られる。

$$\Delta e = (V / 4) K \epsilon \quad \dots\dots (4)$$

$$\epsilon = (4 / VK) \Delta e \quad \dots\dots (4)'$$

従って、ホイートストンブリッジ回路hの出力電圧 Δe は、ひずみゲージaを貼着した物体の測定部位のひずみ量 ϵ に比例し、ひずみ測定器A側では、該出力電圧 Δe によって、ひずみ量 ϵ を測定することができることとなる。尚、物体の応力はこれを σ としたとき、一般にひずみ量 ϵ との間に次式(5)の比例関係が成り立つので、

$$\sigma = E \epsilon \quad \dots\dots (5)$$

但し、E：物体のヤング率

出力電圧 Δe によって、該応力も測定できる。これがひずみ測定の基本的な手法である。

【0007】尚、上記で説明した測定手法以外にも、2個のひずみゲージを物体の測定部位に貼着する2ゲージ法や4個のひずみゲージを物体の測定部位に貼着する4ゲージ法等の手法もあるが、いずれの手法においても、

*を介してひずみ測定器Aに接続される。この場合、ひずみ測定器A内には、3辺に固定抵抗値の抵抗 b_1 、 b_2 、 b_3 を有するホイートストンブリッジ回路hが備えられ、このホイートストンブリッジ回路hの残りの一辺にひずみゲージaが接続される。そして、ひずみ測定に際しては、ホイートストンブリッジ回路hの一对の対角点間に、ひずみ測定器Aに備えたブリッジ電源回路dから入力電圧V(一定電圧)を印可し、残りの一对の対角点間に物体のひずみ量に応じた測定信号としての出力電圧 Δe を生成する。このとき、接続線c1、c2の抵抗値 r_1 、 r_2 が十分に小さいとすると、前記出力電圧 Δe は、ひずみゲージa及び抵抗 b_1 、 b_2 、 b_3 のそれぞれの抵抗値 R_a 、 R_1 、 R_2 、 R_3 と入力電圧Vとを用いて次式(1)により表される。

【0004】

基本的には、物体に貼着したひずみゲージを含めて構成したホイートストンブリッジ回路によって、物体のひずみ量に比例した測定信号を生成するものである。

【0008】また、前述の多点測定では、例えば図8に示すような測定システムが従来から用いられている。すなわち、機械、建造物等の物体の複数の測定部位あるいは、複数の物体にそれぞれ貼着したひずみゲージa、a、…が多点測定機能を有するひずみ測定器A'あるいは該ひずみ測定器A'によって制御されるスイッチボックスBにそれぞれ接続線cを介して接続される。そして、ひずみ測定器A'は自身に接続された各測定点のひずみゲージaに順次通電せしめて該測定点のひずみ量に応じた測定信号を生成させ、さらには、スイッチボックスBに接続された各測定点のひずみゲージaに該スイッチボックスBを介して順次通電せしめて該測定点のひずみ量に応じた測定信号を生成させ、各測定点毎の測定信号を取得する。さらに、ひずみ測定器Aは、取得した測定信号に基づき、各測定点毎のひずみ量を把握し、これにより多点ひずみ測定を行う。尚、この場合、例えば1ゲージ法によるひずみ測定に関しては、ひずみ測定器AやスイッチボックスBに、各測定点のひずみゲージaと併せて前記図7に示したようなホイートストンブリッジ回路を構成するための抵抗が各測定点のひずみゲージaに対して切換接続可能に設けられ、その切換接続を各測定点について順次行い、多点ひずみ測定が行われる。

【0009】しかしながら、前述のような従来のひずみ測定システムでは、ひずみゲージをひずみ測定器あるいはスイッチボックスに接続する接続線に起因して次のような不都合を生じるものであった。

【0010】例えば前記図7に示した1ゲージ法による測定システムにおいて、接続線c1、c2の抵抗値 r_1

、 r_2 を考慮すると、ホイートストンブリッジ回路 h の出力電圧 Δe (測定信号) は、式 (1) 中の R_a ($= R + \Delta R$) を $R_a + r_1 + r_2$ で置き換えた式で表さ *

$$\Delta e = [(\Delta R + r_1 + r_2) / 2 (2R + \Delta R + r_1 + r_2)] V$$

この式 (2)' から明らかなように、ひずみゲージをひずみ測定器やスイッチボックスに接続する接続線の抵抗はひずみ測定の測定感度や零点 (ひずみ量の基準とする出力電圧 Δe で、これは、一般にひずみゲージを物体に貼着した当初の出力電圧 Δe が用いられる)、ひいては

測定精度に影響を及ぼし、このことは 2 ゲージ法や 4 ゲージ法等の他のひずみ測定手法についても同様である。
【0012】このため、従来は、ひずみゲージをひずみ測定器やスイッチボックスに接続する接続線の線径や長さ (接続線の抵抗値は基本的には接続線の線径や長さによって定まる) によって、ひずみ測定器の設定値を調整することでひずみ測定時に得られる測定信号をひずみ測定器側で補正したり、あるいは、ひずみ測定器で最終的にひずみ量等のデータ値を得た後に、測定者が補正表を参照する等して該データ値を補正することが一般に行われている。

【0013】しかしながら、例えば前述のような多点測定では、測定点が広範囲に及ぶと、ひずみゲージをひずみ測定器あるいはスイッチボックスに接続する接続線が長いものとならざるを得ず、該接続線の抵抗値が比較的大きなものとなりやすい。また、ひずみ量の一点測定を行う場合であっても、測定環境上、接続線が長いものとならざるを得ない場合もある。そして、このように接続線が長いものとなって、その抵抗値が比較的大きくなると、前述のような補正を行っても、十分な測定感度や測定精度を確保することが困難なものとなっていた。

【0014】また、接続線の抵抗値は、環境温度の影響を受けるため、特に接続線が長く、その抵抗値が比較的大きい場合には、接続線の線径や長さによって、測定信号等の補正を行っただけでは、環境温度の変化によって零点移動や測定感度の変動を生じ、長期的なひずみ測定や広範囲にわたる多点ひずみ測定を安定した測定精度で行うことが困難なものとなっていた。尚、この場合、1 ゲージ法では、公知の 1 ゲージ 3 線法を用いることで、零点移動をある程度抑制することはできるものの、測定感度の変動を抑制することはできない。また、4 ゲージ法では接続線の抵抗値の影響を排除するために定電流法を用いることもあるが、この手法は 4 ゲージ法に限られる。

【0015】さらに、従来の測定システムでは、ひずみゲージの微小な抵抗変化に応じた信号 (アナログ信号) をひずみ測定器側でひずみゲージとの接続線を介して受けるものであるため、接続線に混入する外乱ノイズや接続線の劣化等の影響を受けやすく、これも測定誤差の大きな要因となっていた。特に、構造物等のひずみ測定で

れ、さらに前述の如く $R_1 = R_2 = R_3 = R$ とした場合、出力電圧 Δe は次式 (2)' で表される。

$$\Delta e = [(\Delta R + r_1 + r_2) / 2 (2R + \Delta R + r_1 + r_2)] V$$

..... (2)'

は、接続線を地中に埋設したり、長期測定を行う場合が多々あり、このような場合には、接続線の劣化によって、その絶縁性が低下し、外乱ノイズが大幅に増加したりして、測定に重大な支障をきたすことがしばしばあった。

【0016】このように従来の測定システムでは、ひずみゲージをひずみ測定器あるいはスイッチボックスに接続する接続線が測定精度や測定の安定性等に悪影響を及ぼし易いものとなっていた。

【0017】また、特に構造物等の多点測定では、測定点の個数は数百、場合によっては数千に及ぶことがあり、このような多点測定では、前述のように接続線の線径や長さによって、測定信号や最終的に得られたデータ値を補正するためには、測定点毎にその補正を行わなければならない。また、各測定点のひずみゲージの温度特性等を考慮した補正や、物体の温度に応じた熱的なひずみ特性を考慮した補正を各測定点毎に行わなければならない場合も多々ある。また、測定システムの設置にあたっては、測定点毎にひずみゲージとひずみ測定器あるいはスイッチボックスとの間の接続線の配線処理を行わなければならない。また、屋外で長期的な測定を行う場合には、測定点毎のひずみゲージの防水等、該ひずみゲージを保護するためのコーティング処理を施さなければならない。

【0018】従って、従来の多点ひずみ測定では、これらの作業に膨大な時間や労力、コストを要すると共に、接続線の誤接続等の不都合も生じやすいものとなっていた。

【0019】さらに、従来の多点ひずみ測定では、各測定点のひずみゲージによって、順次、ひずみ量に応じた測定信号を生成して、該測定信号をひずみ測定器に取り込むため、特に測定点数の多い測定では、各測定点毎のひずみ量の測定タイミングの比較的大きな時間差を生じ、その時間差内に測定環境の変化等が生じる場合には、同一の測定環境条件で各測定点のひずみ量を測定することができないものとなっていた。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】本発明はかかる背景に鑑み、接続線による測定精度や測定の安定性等への悪影響を排除して、精度のよいひずみ測定を安定して行うことを可能とし、さらには、ひずみ測定に際しての準備作業や測定データの処理の容易化を図ることができるひずみ測定モジュールを提供することを目的とする。

【0021】また、本発明は多点ひずみ測定システムにおいて、前記ひずみ測定モジュールを用いて、接続線に

よる測定精度や測定の安定性等への悪影響を排除し、精度のよい測定を安定して行うことを可能とすると共に、測定に際しての準備作業や測定データの処理の容易化を図ることができ、さらには、測定データの収集や処理を効率よく行うことができる多点ひずみ測定システムを提供することを目的とする。

【0022】

【課題を解決するための手段】本発明のひずみ測定モジュールは、かかる目的を達成するために、物体に貼着されるひずみゲージと、少なくとも該ひずみゲージにより前記物体のひずみ量に応じた測定信号を生成させるための測定信号生成用回路と、該測定信号をデジタルデータに変換するA/D変換手段と、該測定信号のデジタルデータ、又は、該デジタルデータから所定の処理を経て生成してなるデジタルデータを測定出力データとして外部に出力するデータ出力処理手段とを一体的にモジュール化してなるモジュール本体部とを有し、該モジュール本体部を前記ひずみゲージにその近傍で接続してなることを特徴とする。

【0023】かかる本発明によれば、少なくとも前記測定信号生成用回路、A/D変換手段及びデータ出力処理手段を一体的にモジュール化してなるモジュール本体部を前記物体に貼着されるひずみゲージにその近傍で接続するので、該ひずみゲージによって生成される前記測定信号は、該ひずみゲージの近傍でモジュール本体部のA/D変換手段によってデジタルデータに変換される。この場合、モジュール本体部をひずみゲージに接続する接続線は短いもので済むため、前記測定信号は、該接続線の抵抗値や外乱ノイズ等の影響をほとんど受けることなく、デジタルデータに変換される。そして、該デジタルデータ、又は該デジタルデータから所定の処理を経て生成してなるデジタルデータが測定出力データとして前記モジュール本体部のデータ出力処理手段によって外部に出力される。このとき、該測定出力データはデジタルデータであるため、それを有線及び無線のいずれの方式で出力しても、該測定出力データは接続線や外乱ノイズ等の影響を受け難い。従って、該測定出力データによって物体のひずみ測定を精度よく行うことが可能となる。

【0024】よって、本発明によれば、接続線による測定精度や測定の安定性等への悪影響を排除して、精度のよいひずみ測定を安定して行うことが可能となる。

【0025】かかる本発明のひずみ測定モジュールでは、例えばひずみゲージの防水等のための保護用のコーティング部材により被覆された前記ひずみゲージを前記モジュール本体部に一体に装着する。これによれば、前記ひずみゲージを物体に貼着することで、該ひずみゲージのコーティング処理及び前記モジュール本体部の設置が行われ、ひずみ測定のための準備作業を容易に行うことができる。特に、このようなひずみ測定モジュールを用いて複数の物体又は物体の複数部位について多点ひず

み測定を行う場合には、個々の測定点についての準備作業を上記のように容易に行うことができるため、全体的な準備作業を効果的に容易化することができる。

【0026】あるいは、本発明のひずみ測定モジュールでは、保護用のコーティング部材により被覆された前記ひずみゲージが該コーティング部材と共に前記モジュール本体部に着脱可能に装着され、その装着状態で前記ひずみゲージを前記モジュール本体部に電氣的に接続せしめる接続部を前記コーティング部材の外面部に設ける。これによれば、ひずみゲージをコーティング部材と共にモジュール本体部に装着した状態で、該ひずみゲージを物体に貼着することで、前記の場合の同様に、ひずみゲージのコーティング処理及び前記モジュール本体部の設置というようなひずみ測定のための準備作業を容易に行うことができる他、ひずみ測定の終了後に、ひずみゲージをこれを被覆するコーティング部材と共にモジュール本体部から取り外して、該モジュール本体部を再利用することができる。そして、その再利用に際しては、前記接続部を外面部に有するコーティング部材により被覆したひずみゲージを該コーティング部材と共にモジュール本体部に装着することで、ひずみゲージのモジュール本体部への電氣的な接続も容易に行うことができる。

【0027】また、上記のようにコーティング部材により被覆したひずみゲージを該コーティング部材と共にモジュール本体部に着脱自在に装着する構造としない場合であっても、前記ひずみゲージを前記モジュール本体部に着脱自在に接続することが好ましく、これによって、モジュール本体部をひずみ測定に繰り返して用いることができる。

【0028】また、本発明のひずみ測定モジュールでは、前記物体の温度を検出する温度センサを備え、前記A/D変換手段は、前記温度センサの検出信号をデジタルデータに変換する手段を含み、前記データ出力処理手段は、該温度センサの検出信号のデジタルデータを外部に出力する手段を含む。

【0029】これによれば、ひずみ測定に際して、測定データの補正等のために必要となることが多い物体の温度のデータを、前記測定出力データと共に、デジタルデータにより得ることができる。

【0030】また、本発明のひずみ測定モジュールでは、前記測定信号をA/D変換手段によって変換してなるデジタルデータをそのまま前記測定出力データとして前記データ出力処理手段によって外部に出力するようにしてもよいが、前記物体の温度を検出する温度センサを備えた場合にあっては、前記A/D変換手段は、前記温度センサの検出信号をデジタルデータに変換する手段を含み、前記データ出力処理手段は、前記温度センサの検出信号のデジタルデータにより示される前記物体の温度に基づき前記測定出力データを補正して出力する手段を含むことが好ましい。

【0031】すなわち、ひずみ測定では、ひずみゲージによって得られる測定信号に基づく測定値に対してひずみゲージの温度特性や物体の温度特性、あるいは物体の熱ひずみ等を考慮した補正を行う必要を生じる場合があり、このような場合に、前記モジュール本体部のデータ出力処理手段によって、前記温度センサの検出信号のデジタルデータにより示される前記物体の温度に基づき前記測定出力データを補正する処理を行って、それを外部に出力することで、該測定出力データから直ちに所望のデータを得ることができる。このため、特に本発明のひずみ測定モジュールを用いて複数の物体又は物体の複数部位についての多点ひずみ測定を行う場合には、各測定点に対応するモジュール本体部のデータ出力処理手段から得られる測定出力データの後処理を容易なものとする。また、上記のような補正処理は、各測定点毎のモジュール本体部のデータ出力処理手段によって各測定点毎に独立に行われるため、各測定点について補正処理を効率よく行うことができる。

【0032】尚、前記測定出力データの補正に際しては、上記のような温度に応じた補正の他、ひずみゲージのゲージ率等、ひずみゲージに固有の特性値に基づく補正や、ひずみゲージを物体に貼着した当初の測定信号のデジタルデータに基づく零点補正（当初の測定信号のレベルを基準とする補正）等をデータ出力処理手段により行うようにしてもよい。

【0033】また、ひずみ測定では、物体に貼着するひずみゲージとして、少なくとも3個以上のひずみゲージから成るロゼットゲージを用い、それらの各ひずみゲージによりそれぞれ生成した測定信号のデータからロゼット解析処理の演算によって、物体の主ひずみ量や剪断ひずみ量、主ひずみの方向を測定する場合がある。

【0034】そこで、本発明のひずみ測定モジュールでは、前記ひずみゲージが少なくとも3個以上のひずみゲージから成るロゼットゲージである場合に、前記測定信号生成用回路は、該ロゼットゲージの各ひずみゲージ毎に前記測定信号を生成させる手段を含み、前記データ出力処理手段は、各ひずみゲージ毎の前記測定信号のデジタルデータから前記物体の主ひずみ量、剪断ひずみ量、及び主ひずみの方向のうちの少なくとも一つを、前記測定出力データとしてロゼット解析処理により求める手段を含む。

【0035】これによれば、モジュール本体部の前記データ出力処理手段は、各ひずみゲージ毎の前記測定信号のデジタルデータから前記物体の主ひずみ量、剪断ひずみ量、及び主ひずみの方向のうちの少なくとも一つを、ロゼット解析処理により求めた上で、それを測定出力データとして外部に出力するので、物体の主ひずみ量や剪断ひずみ量、主ひずみの方向というような所望のデータを該測定出力データから直ちに得ることができる。特にこのようなひずみ測定モジュールを用いて複数の物体又

は物体の複数部位についての多点ひずみ測定を行う場合には、各測定点に対応するモジュール本体部のデータ出力処理手段から得られる測定出力データの後処理を容易なものとする。また、上記のようなロゼット解析処理は、各測定点毎のモジュール本体部のデータ出力処理手段によって各測定点毎に独立に行われるため、各測定点についてロゼット解析処理を効率よく行うことができる。

【0036】次に、本発明の多点ひずみ測定システムは、前記の目的を達成するために、複数の物体又は物体の複数部位にそれぞれひずみゲージを貼着して、該ひずみゲージにより各物体又は物体の各部位のひずみ量に応じた測定信号を生成させ、該測定信号に基づき複数の物体又は物体の複数部位についての多点ひずみ測定を行うシステムにおいて、少なくとも各物体又は物体の各部位に貼着したひずみゲージにより前記測定信号を生成させるための測定信号生成用回路と、該測定信号をデジタルデータに変換するA/D変換手段と、該測定信号のデジタルデータ、又は、該デジタルデータから所定の処理を経て生成してなるデジタルデータを測定出力データとして外部に出力するデータ出力処理手段とを一体的にモジュール化してなるモジュール本体部を有し、該モジュール本体部を前記各物体又は物体の各部位毎のひずみゲージにその近傍でそれぞれ接続してなる複数のひずみ測定モジュールと、各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段から出力される前記測定出力データを収集して処理すべく各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段と通信可能に設けられた測定データ処理装置とにより構成したことを特徴とする。

【0037】かかる本発明によれば、ひずみゲージを貼着する各物体又は物体の各部位の測定点毎に前記ひずみ測定モジュールを用いることで、前述の如く、接続線による測定精度や測定の安定性等への悪影響を排除して、精度のよい多点ひずみ測定を安定して行うことが可能となる。

【0038】そして、本発明の多点ひずみ測定システムでは、さらに、前記各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段は、前記測定データ処理装置から該ひずみ測定モジュールに固有の出力動作指令を択一的に該データ出力処理手段に与えることにより、前記測定出力データを前記測定データ処理装置に出力する。

【0039】このように前記測定データ処理装置から各ひずみ測定モジュールに固有の出力動作指令を択一的に各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段に与えることにより、前記各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段から前記測定出力データを前記測定データ処理装置に出力することで、各測定点毎の測定出力データを測定データ処理装置により時分割的に効率よく収集することができる。

【0040】この場合、測定データ処理装置と各ひずみ

10

20

30

40

50

測定モジュールのデータ出力処理手段との間の通信は、有線及び無線のいずれの方式を採用してもよいが、上記のように各測定点毎の測定出力データを時分割的に収集することができるため、特に有線方式を採用する場合には、前記測定データ処理装置と各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段とは共通の通信線を介して通信可能に接続する。このように測定データ処理装置と各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段とを共通の通信線を介して接続することで、測定データ処理装置と各ひずみ測定モジュールとの間の配線処理を容易に行うことができ、従って、多点ひずみ測定に際しての準備作業を容易に行うことができる。尚、測定データ処理装置と各ひずみ測定モジュールとの間で授受される測定出力データはデジタルデータであるため、そのデータの授受に際して前記共通の通信線の抵抗値や外乱ノイズ等の影響を受けにくいものとなることはもちろんである。

【0041】さらに、このように測定データ処理装置と各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段とを共通の通信線を介して接続した場合には、前記測定データ処理装置は、前記共通の通信線を介して各ひずみ測定モジュールの電源電力を供給する手段を含み、前記各ひずみ測定モジュールのモジュール本体部に前記共通の通信線から該ひずみ測定モジュールの電源電力を抽出する電源手段を備えることが好ましい。これによれば、各ひずみ測定モジュール毎に、電池等の電源を内蔵せずとも、各ひずみ測定モジュールの電源電力を前記共通の信号線を介して効率よく供給することができると共に、各ひずみ測定モジュールを、測定の際等、必要な時にのみ一括的に動作させることができる。

【0042】また、本発明の多点ひずみ測定システムでは、前記各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段は、前記測定出力データを記憶保持する記憶手段を備え、前記測定データ処理装置から与えられる各ひずみ測定モジュールに共通の測定開始指令に応じて該測定開始指令が与えられた際の前記A/D変換手段の出力に基づく前記測定出力データを前記記憶手段に記憶保持し、その記憶保持した測定出力データを前記出力動作指令に応じて前記データ処理装置に出力する。

【0043】これによれば、前記測定データ処理装置から与えられる各ひずみ測定モジュールに共通の測定開始指令を同時に与えることで、各測定点のひずみ測定モジュールでは、その時の測定信号のデジタルデータに基づく測定出力データが記憶手段に記憶保持される。そして、その記憶保持された測定出力データが、各ひずみ測定モジュールのデータ出力処理手段に前記測定データ処理装置から該ひずみ測定モジュールに固有の出力動作指令を与えることで、各ひずみ測定モジュールから測定データ処理装置に各測定点毎の測定出力データが与えられる。従って、測定データ処理装置では、同時刻における各測定点毎の前記測定信号に基づく測定出力データを得

ることができる。

【0044】尚、本発明の多点ひずみ測定システムでは、各ひずみ測定モジュールは、前述した前記本発明のひずみ測定モジュールと同様の構成を具備することが好ましい。

【0045】すなわち、前記各物体又は物体の各部位に貼着するひずみゲージをあらかじめ保護用のコーティング部材により被覆した状態で前記各ひずみ測定モジュールのモジュール本体部に一体に装着する。

【0046】あるいは、前記各物体又は物体の各部位に貼着するひずみゲージをあらかじめ保護用のコーティング部材により被覆した状態で前記各ひずみ測定モジュールのモジュール本体部に該コーティング部材と共に着脱自在に装着し、その装着状態で前記ひずみゲージを前記モジュール本体部に電気的に接続せしめる接続部を前記コーティング部材の外表面部に設ける。

【0047】あるいは、前記各物体又は物体の各部位に貼着するひずみゲージを前記各ひずみ測定モジュールのモジュール本体部に着脱自在に接続する。

【0048】また、前記各物体又は物体の各部位の温度を検出する温度センサを備えた場合において、該ひずみ測定モジュールの前記A/D変換手段は、前記温度センサの検出信号をデジタルデータに変換する手段を含み、該ひずみ測定モジュールの前記データ出力処理手段は、前記温度センサの検出信号のデジタルデータを前記測定データ処理装置に出力する手段を含む。

【0049】あるいは、前記各物体又は物体の各部位の温度を検出する温度センサを備えた場合において、該ひずみ測定モジュールの前記A/D変換手段は、前記温度センサの検出信号をデジタルデータに変換する手段を含み、該ひずみ測定モジュールの前記データ出力処理手段は、前記温度センサの検出信号のデジタルデータにより示される前記物体の温度に基づき前記測定出力データを補正して出力する手段を含む。

【0050】また、前記各物体又は物体の各部位に貼着したひずみゲージは少なくとも3個以上のひずみゲージから成るロゼットゲージである場合において、前記各ひずみ測定モジュールの測定信号生成用回路は、該ロゼットゲージの各ひずみゲージ毎に前記測定信号を生成させる手段を含み、該ひずみ測定モジュールの前記データ出力処理手段は、該ロゼットゲージの各ひずみゲージ毎の前記測定信号のデジタルデータから前記各物体又は物体の各部位の主ひずみ量、剪断ひずみ量、及び主ひずみの方向のうちの少なくとも一つを、前記測定出力データとしてロゼット解析処理により求める手段を含む。

【0051】このような各ひずみ測定モジュールの構成を採用することによって、前述したような作用効果が得られる。

【0052】

【発明の実施の形態】本発明のひずみ測定モジュール及

びこれを用いた多点ひずみ測定システムの第1の実施形態を図1乃至図3を参照して説明する。図1は本実施形態における多点ひずみ測定システムの全体構成を示すシステム構成図、図2は図1のシステムで用いるひずみ測定モジュールの回路構成図、図3は図2のひずみ測定モジュールの構造を示す断面図である。尚、図1における括弧内の参照符号は、後述する第2の実施形態に対応するもので、以下の第1の実施形態の説明では使用しない。

【0053】図1を参照して、本実施形態の多点ひずみ測定システムは、例えば建造物、機械等の物体（図示しない）の複数部位のひずみ量を例えば1ゲージ法で測定するものであり、物体の各部位（各測定点）にそれぞれ貼着される複数のひずみゲージ1、1、…と、各測定点のひずみゲージ1にそれぞれモジュール本体部2を接続して成る複数のひずみ測定モジュール3、3、…と、各ひずみ測定モジュール3で後述のように生成される測定出力データを収集・処理する測定データ処理装置4とを備えている。

【0054】この場合、本実施形態では、各測定点のひずみゲージ1及びひずみ測定モジュール3の組は、複数のグループG、G、…に分類され、各グループGに属する各ひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2が各グループG毎に共通の副通信線5に接続されている。これらの副通信線5は、すべてのグループG、G、…について共通の主通信線6に合流しており、この主通信線6が前記測定データ処理装置4に接続されている。これにより、各ひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2は、それが属するグループGに共通の副通信線5とすべてのグループG、G、…について共通の主通信線6とを介して測定データ処理装置4との間で後述するようなデータの通信を行うことができるようになっている。

【0055】尚、本実施形態では上記のようなグループ分けを行っているが、すべてのひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2を単一の共通通信線を介して測定データ処理装置4に接続するようにしてもよい（このことは後述する他の実施形態でも同様である）。

【0056】前記各ひずみ測定モジュール3は、所要の回路を1チップマイコン等を用いて小型にモジュール化して成るモジュール本体部2を、ひずみゲージ1にその近傍で接続したものであり、図2に示すような回路構成を具備する。

【0057】すなわち、モジュール本体部2は、これに接続するひずみゲージ1と併せてホイートストンブリッジ回路7を構成するよう相互に接続された3個の抵抗8、8、8と、そのホイートストンブリッジ回路7の一对の対角点間に入力電圧V（一定電圧）を印可するブリッジ電源回路9と、その入力電圧Vの印可時にホイートストンブリッジ回路7の残りの一对の対角点間の生成される出力電圧 Δe 、すなわち、測定点のひずみ量に応じ

た測定信号を増幅する増幅器10と、該増幅器10の出力をそのレベルを表すデジタルデータに変換するA/D変換器11（A/D変換手段）とを具備する。ここで、本発明の構成に対応させると、前記ホイートストンブリッジ回路7、ブリッジ電源回路9及び増幅器10は、測定信号生成用回路12を構成するものである。

【0058】尚、ホイートストンブリッジ回路7の各抵抗8の抵抗値は、例えばひずみゲージ1の通常時の抵抗値と同一とされている。

【0059】さらに、モジュール本体部2は、その統括的な動作制御や演算処理を行う制御回路（CPU）13と、この制御回路13用のプログラムや各種データを記憶保持する記憶回路14（記憶手段）と、前記測定データ処理装置4との間のデータの送受を行うインターフェース回路15とを具備する。

【0060】ここで、制御回路13は、記憶回路14及びインターフェース回路15と併せてデータ出力処理手段16を構成するもので、その動作の詳細は後述するが、基本的には、前記測定データ処理装置4から与えられる指令に応じてA/D変換器11から前記測定信号 Δe のデジタルデータを取得して所要の測定出力データを生成し、それをインターフェース回路15から前記副通信線5及び主通信線6を介して測定データ処理装置4に出力せしめる。

【0061】また、記憶回路14は、制御回路13用のプログラム等をあらかじめ記憶保持したROMと、制御回路13により生成される測定出力データ等を記憶保持するRAMと、制御回路13が測定出力データを生成するために使用するパラメータデータ等を記憶保持するEEPROMとにより構成されている。この場合、EEPROMには、あらかじめ各ひずみ測定モジュール3に固有の識別データ（IDコード）やモジュール本体部2に後述の如く接続されるひずみゲージ1に固有のゲージ率Kの値等が記憶保持されている。

【0062】さらに、本実施形態では、各ひずみ測定モジュール3の動作電源電力を一括的に測定データ処理装置4から前記主通信線6及び副通信線5を介して各ひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2に供給するようしており、このため、モジュール本体部2は、これに接続された副通信線5から動作電源電力を抽出してそれを上記の制御回路13等の各回路に供給する主電源回路17（電源手段）を備えている。

【0063】本実施形態の各ひずみ測定モジュール3では、ひずみゲージ1と上記のような回路構成を具備したモジュール本体部2とは、図3に示すような構造で接続されている。すなわち、各ひずみ測定モジュール3のひずみゲージ1は、物体への貼着面を除いて、防水等のための保護用のコーティング部材18により被覆され、このコーティング部材18はブロック状に形成されている。そして、ひずみゲージ1はそのコーティング部材1

8を介してモジュール本体部2に装着されると共に、該ひずみゲージ1から導出された接続線19がモジュール本体部2にハンダ付け等により結線されている。さらに、これらのモジュール本体部2及びコーティング部材18は、有底筒状の筐体20の開口端にひずみゲージ1を位置させて、該筐体20内に收容されている。このような構造により、ひずみゲージ1は、モジュール本体部2に一体的に装着されると共に、該モジュール本体部2（詳しくは前記ホイートストンブリッジ回路7の一辺）が、ひずみゲージ1にその近傍で電氣的に接続されている。

【0064】尚、前記測定データ処理装置4は、マイコンを用いて構成されたもので、その動作の詳細は後述するが、基本的には、各ひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2に前記主通信線6及び副通信線5を介して電源電力を供給しつつ所定の指令与えて、測定出力データを生成・出力させ、該測定出力データを収集する。そして、その収集した測定出力データにより示される測定値を図示しない表示器に表示したり、図示しない記録装置に記録したりする。

【0065】次に、本実施形態の多点ひずみ測定システムの作動（ひずみ測定モジュールの作動を含む）を説明する。

【0066】本実施形態のシステムにより建造物、機械等の物体の複数部位について多点ひずみ測定を行う際には、物体の各部位（各測定点）に、前記各ひずみ測定モジュール3に備えたひずみゲージ1を図示しない接着剤に貼着する（図3参照）。この場合、前述の如くひずみゲージ1はコーティング部材18により被覆されており、また、該コーティング部材18と共に各ひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2に一体的に装着されているので、ひずみゲージ1を物体の各部位に貼着することで、該ひずみゲージ1の防水等のためのコーティング処理と、モジュール本体部2の設置が行われることとなる。

【0067】さらに、各測定点のひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2と、前記測定データ処理装置4と、前記副通信線5及び主通信線6を介して接続する。

【0068】このような準備作業の終了後、前記測定データ処理装置4の所定の操作を行うことで、該測定データ処理装置4は、主通信線5及び副通信線6を介して各測定点のひずみ測定モジュール3に電源電力を供給しつつ、各ひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2に初期設定処理を行わしめるための所定の初期設定動作指令を送出する。この初期設定動作指令は、主通信線5及び副通信線6を介してすべてのひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2に与えられ、この時、該モジュール本体部2では、次のような初期設定処理が行われる。

【0069】すなわち、各ひずみ測定モジュール3の制御回路13は、インターフェース回路15を介して前記

初期設定動作指令を受け取ると、前記ブリッジ電源回路9からホイートストンブリッジ回路7に入力電圧Vを印可させて、測定点のひずみ量に応じた前記測定信号 Δe を生成させる。そして、制御回路13は、この測定信号 Δe のレベルを増幅器10により増幅したものをA/D変換器11によりデジタルデータに変換させ、その測定信号 Δe のデジタルデータ、すなわち、測定信号 Δe の初期値をひずみ測定の零点（ひずみ量の基準とする測定信号 Δe のレベル）を表すデータとして記憶回路14のEEPROMに記憶保持させる。

【0070】このようにして、各ひずみ測定モジュール3における初期設定処理を行った後、各測定点のひずみ量を測定する際には、前記測定データ処理装置4の所定の操作を行うことで、該測定データ処理装置4は、各測定点のひずみ測定モジュール3に電源電力を供給しつつ、各ひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2に測定出力データを生成させるための所定の測定開始指令を送出する。この測定開始指令は、主通信線6及び副通信線5を介してすべてのひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2にほぼ同時に与えられ、この時、該モジュール本体部2では、次のような処理が行われる。

【0071】すなわち、各ひずみ測定モジュール3の制御回路13は、インターフェース回路15を介して前記初期設定動作指令を受け取ると、前記ブリッジ電源回路9からホイートストンブリッジ回路7に入力電圧Vを印可させて、前記測定信号 Δe を生成させる。そして、制御回路13は、この測定信号 Δe のレベルを増幅器10により増幅したものをA/D変換器11によりデジタルデータに変換させ、その測定信号 Δe のデジタルデータを取得する。さらに、制御回路13は、取得したデジタルデータにより示される今現在の測定信号 Δe のレベルから先にEEPROMに記憶保持しておいた測定信号 Δe の初期値を減算することで、零点補正を行い、その零点補正を行った測定信号 Δe のレベルから、例えば前記式(4)'の演算を行うことで、測定点のひずみ量 ε

（通常の意味でのひずみ量）を算出する。この場合、この算出に際しては、EEPROMにあらかじめ記憶保持されたゲージ率Kの値（この値はひずみゲージ1に固有の特性値である）を用いる。そして、制御回路13は、求めたひずみ量 ε を測定出力データ（デジタルデータ）として、記憶回路14のRAMに記憶保持させる。

【0072】これにより、各ひずみ測定モジュール3のモジュール本体部2では、ほぼ同時に、各測定点毎の測定信号 Δe に基づく測定出力データが生成されて記憶保持されることとなる。

【0073】次いで、前記測定データ処理装置4の所定の操作を行うことで、該測定データ処理装置4は、各測定点のひずみ測定モジュール3に電源電力を供給しつつ、各ひずみ測定モジュール3毎に固有の前記識別データ（IDコード）を択一的に（例えば順番に）選択し、

その選択した識別データを含む所定の出力動作指令を送出する。この出力動作指令は、各ひずみ測定モジュール 3 において前述の如く生成・記憶された測定出力データを出力させるための指令で、すべてのひずみ測定モジュール 3 のモジュール本体部 2 に主通信線 6 及び副通信線 5 を介して与えられる。

【0074】この時、各ひずみ測定モジュール 3 のモジュール本体部 2 では、次のような処理が行われる。

【0075】すなわち、モジュール本体部 2 の制御回路 13 は、インターフェース回路 15 を介して前記出力動作指令を受け取ると、該指令に含まれる識別データを記憶回路 14 の EEPROM に記憶保持されている識別データと照合し、それらが合致していない場合には待機する。そして、それらが合致している場合には、制御回路 13 は、記憶回路 14 の RAM に先に記憶保持した前記測定出力データをインターフェース回路 15 を介して送

出する。従って、各ひずみ測定モジュール 3 のモジュール本体部 2 は、該ひずみ測定モジュール 3 に固有の識別データを含む出力動作指令が与えられた場合にのみ測定出力データを送出する。

【0076】前記測定データ処理装置 4 は上記のようにして各ひずみ測定モジュール 3 から送られる測定出力データを受け取り、これにより、各ひずみ測定モジュール 3 から各測定点毎の測定出力データを時分割的に収集する。

【0077】そして、測定データ処理装置 4 は、このようにして収集した各測定点毎の測定出力データにより示される各測定点毎のひずみ量を図示しない表示器に表示したり、記録装置に記録し、以上により、多点ひずみ測定が行われることとなる。

【0078】尚、長期的な測定を行う場合には、前述のような各ひずみ測定モジュール 3 における測定出力データの生成や出力が適宜の時間間隔をおいて繰り返される。

【0079】このような本実施形態の測定システムでは、各ひずみ測定モジュール 3 のモジュール本体部 2 は、ひずみゲージ 1 にその近傍で接続されているため、その接続線 19 は極めて短いものでよく、従って、該接続線 19 の抵抗値や外乱ノイズ等の影響をほとんど受けずに測定点のひずみ量に応じた測定信号 Δe を生成して、これをデジタルデータに変換することができる。そして、そのデジタルデータに基づく前記測定出力データを各ひずみ測定モジュール 3 から測定データ処理装置 4 に送出するに際しては、該測定出力データはデジタルデータであるため、それが、各ひずみ測定モジュール 3 と測定データ処理装置 4 とを接続する前記副通信線 5 や主通信線 6 の抵抗値や外乱ノイズ等の影響を受けることもほとんどない。

【0080】従って、接続線による測定精度や測定の安定性への悪影響を排除して、各測定点のひずみ量の測定

を精度よく行うことができると共に、その測定を安定して行うことができる。

【0081】また、本実施形態では、各ひずみ測定モジュール 3 は、ひずみゲージ 1 と、これを被覆するコーティング部材 18 と、モジュール本体部 2 とを一体構造としているため、ひずみゲージ 1 を物体の測定点に貼着することで、該ひずみゲージ 1 のコーティング処理とモジュール本体部 2 の設置とが行われるため、各測定点毎の準備作業を容易に行うことができる。さらに、本実施形態では、測定データ処理装置 4 による各測定点毎の測定出力データの収集は、各ひずみ測定モジュール 3 に固有の識別データを用いて時分割的に行うことができるので、そのデータ収集を効率よく行うことができると同時に、各ひずみ測定モジュール 3 と測定データ処理装置 4 とは、共通の主通信線 6 や副通信線 5 により接続すればよいから、それらの配線処理も簡単に行うことができる。

【0082】また、本実施形態では、各ひずみ測定モジュール 3 のモジュール本体部 2 において、測定データ処理装置 4 からの測定開始指令に応じて、測定信号 Δe のデジタルデータ取得して、それに基づく測定出力データを記憶回路 14 に記憶保持するので、同時刻における各測定点毎の測定信号 Δe に基づく測定出力データを得ることができる。

【0083】さらに、本実施形態では、各ひずみ測定モジュール 3 のモジュール本体部 2 において、測定信号 Δe のデータの零点補正やひずみ量 ϵ の算出を行って測定出力データを生成するため、測定データ処理装置 4 側で各測定点毎に初期設定を行ったり、ひずみ量 ϵ を算出したりする必要がなく、測定に際しての初期設定や後処理を容易に行うことができる。しかも、上記の零点補正やひずみ量 ϵ の算出は、各ひずみ測定モジュール 3 のモジュール本体部 2 において独立に並列処理的に行われるので、各測定点毎の該零点補正やひずみ量 ϵ の算出を効率よく行うことができる。

【0084】尚、本実施形態では、ひずみゲージ 1 をコーティング部材 18 により被覆して、モジュール本体部 2 に一体的に装着するものを示したが、室内における測定や短期的な測定の場合等、ひずみゲージ 1 のコーティング処理を行う必要のない場合には、ひずみゲージ 1 をその近傍でハンダ付け等により直接的にモジュール本体部 2 に結線するようにしてもよい。そして、この場合には、モジュール本体部 2 の設置は、例えば適宜の取付部材を用いて該モジュール本体部 2 をひずみゲージ 1 の近傍の適所に取り付けることで行うようにすればよい。

【0085】次に、本発明の第 2 の実施形態を図 4 を参照して説明する。尚、本実施形態は、前記第 1 の実施形態のものとひずみ測定モジュールの構造の一部のみが相違するもので、同一部分については第 1 の実施形態と同一の参照符号及び図面を用いて詳細な説明を省略する。

【0086】図4は本実施形態におけるひずみ測定モジュール21の構造を示す断面図であり、このひずみ測定モジュール21では、物体に貼着されるひずみゲージ1は、前記第1の実施形態と同様、ブロック状のコーティング部材18により被覆されている。そして、このコーティング部材18が、モジュール本体部2（この回路構成は図2の通り）を底部に収容した有底筒状の筐体20に挿脱自在とされ、このコーティング部材18を、ひずみゲージ1が筐体20の開口端の位置するように筐体20内にモジュール本体部2に向かって挿入することで、ひずみゲージ1がコーティング部材18と共に筐体20を介してモジュール本体部2に着脱自在に装着されるようになっている。

【0087】この場合、ひずみゲージ1から導出された接続線19は、コーティング部材18のモジュール本体部2に対面する外面部に取着された電極片22に結線されている。この電極片22は、ひずみゲージ1をモジュール本体部2に電気的に接続させる接続部を構成するものであり、前述の如くコーティング部材18を筐体20内に挿入して装着した状態で、モジュール本体部2にあらかじめ設けられた電極片23に接触し、これにより、ひずみゲージ1をモジュール本体部2に電気的に接続する。尚、モジュール本体部2の電極片23は、本実施形態では前記図2に示したホイートストンブリッジ回路7の一辺に導通している。

【0088】このようなひずみ測定モジュール21を用いた本実施形態の多点ひずみ測定システムは前記第1の実施形態と同一構成で（図1参照）、各測定点のひずみ測定は、ひずみ測定モジュール21のモジュール本体部2に、各測定点に貼着したひずみゲージ1をこれを被覆したコーティング部材18と共に装着した状態で、第1の実施形態と全く同様に行われる。

【0089】この場合、本実施形態では、第1の実施形態と同様の作用効果を奏することができる他、次のような作用効果を奏する。

【0090】すなわち、本実施形態のひずみ測定モジュール21では、前述の如く、ひずみゲージ1をコーティング部材18と共に、モジュール本体部2に着脱自在に装着しているため（図4参照）、測定の終了後に、各ひずみ測定モジュール21の前記筐体20からコーティング部材18を抜脱することで、該コーティング部材18及びこれにより被覆されたひずみゲージ1を取り外すことができる。そして、このようにコーティング部材18及びひずみゲージ1を取り外せば、ひずみ測定モジュール21のモジュール本体部2を再利用することができる。しかもその再利用に際しては、図4に示すようにひずみゲージ1をコーティング部材18により被覆した状態で、該コーティング部材18を筐体20に挿入して装着するだけで、ひずみゲージ1のモジュール本体部2への電気的な接続も、前記電極片22、23の接触によっ

て直ちに行うことができる。

【0091】尚、本実施形態では、ひずみゲージ1をモジュール本体部2に電気的に接続させる接続部として、接触型の電極片22を用いたものを示したが、例えばひずみゲージ1を被覆するコーティング部材18をモジュール本体部2に装着した時に、該モジュール本体部2に嵌合・接続するようなコネクタにより前記接続部を構成するようにしてもよい。

【0092】また、本実施形態では、ひずみゲージ1をコーティング部材18により被覆して、モジュール本体部2に着脱自在に装着するものを示したが、室内における測定や短期的な測定の場合等、ひずみゲージ1のコーティング処理を行う必要のない場合には、ひずみゲージ1をその近傍で例えばコネクタを介してモジュール本体部2に着脱自在に接続するようにしてもよい。そして、この場合には、モジュール本体部2の設置は、例えば適宜の取付部材を用いて該モジュール本体部2をひずみゲージ1の近傍の適所に取り付けることで行うようにすればよい。

【0093】また、以上説明した第1及び第2の実施形態では、通常の意味でのひずみ量 ϵ の多点測定を行うものを示したが、各ひずみ測定モジュール3、21のモジュール本体部2において、測定信号 Δe のデジタルデータからひずみ量 ϵ を求め、そのひずみ量 ϵ から例えば前記式（5）の演算により各測定点の応力を測定出力データとして算出し、各測定点の応力を測定するようにしてもよい。この場合、応力を求めるために必要な物体のヤング率は、例えば各ひずみ測定モジュール3、21の記憶回路14のEEPROMに記憶しておけばよい。

【0094】また、第1及び第2の実施形態では、各ひずみ測定モジュール3、21において測定信号 Δe のデジタルデータからひずみ量を求めて、それを測定出力データとして測定データ処理装置4に出力するようにしたが、測定信号 Δe のデジタルデータをそのまま測定データ処理装置に出力して、該測定データ処理装置において、測定信号 Δe のデジタルデータから各測定点毎のひずみ量（応力を含む）を算出するようにしてもよい。このようにしても、接続線の影響を排除して精度のよい安定した測定を行うことができる。

【0095】次に、本発明の第3の実施形態を図5を参照して説明する。尚、本実施形態は、前記第1あるいは第2の実施形態のものとひずみ測定モジュールの構成及び機能の一部のみが相違するもので、同一構成部分については第1あるいは第2の実施形態と同一の参照符号及び図面を用いて詳細な説明を省略する。

【0096】図5は本実施形態におけるひずみ測定モジュール24の回路構成を示すものであり、このひずみ測定モジュール24では、物体の測定点に貼着するひずみゲージ1をその近傍でモジュール本体部25に接続している他、その物体の温度を検出すべく該物体にひずみゲ

ージ 1 の近傍で取り付けられる温度センサ 26（例えば熱電対）を備え、この温度センサ 26 がモジュール本体部 25 に接続されている。

【0097】この場合、モジュール本体部 25 は、前記図 2 に示した回路構成、すなわち前記ホイートストンブリッジ回路 7（抵抗 8, 8, 8 を含む）、ブリッジ電源回路 9、増幅器 10、A/D 変換器 11、制御回路 13、記憶回路 14、インターフェース回路 15、及び主電源回路 17 に加えて、切替器 27 を備えている。この切替器 27 は、ひずみゲージ 1 に接続するホイートストンブリッジ回路 7 で生成される測定信号 Δe を増幅器 10 により増幅したものと、温度センサ 26 の検出信号（以下、温度検出信号という）とが入力され、それらの測定信号 Δe 及び温度検出信号とを制御回路 13 の制御により選択的に切り替えて A/D 変換器 11 に出力し、デジタルデータに変換させるようにしている。

【0098】そして、本実施形態では、制御回路 13 は、詳細は後述するが、測定信号 Δe のデジタルデータから把握されるひずみ量を温度検出信号のデジタルデータにより示される温度に応じて補正することで測定出力データを生成するようにしている。

【0099】尚、本実施形態におけるひずみ測定モジュール 24 の構造に関しては、例えば前記第 1 あるいは第 2 の実施形態と同様に、ひずみゲージ 1 と温度センサ 26 との両者をブロック状のコーティング部材により被覆してモジュール本体部 25 に一体的あるいは着脱自在に装着することが好ましい。あるいは、ひずみゲージ 1 及び温度センサ 26 の両者もしくはいずれか一方を単にモジュール本体部 25 の近傍で接続線やコネクタを介してモジュール本体部 25 に接続するようにしてもよい。

【0100】このようなひずみ測定モジュール 24 を用いた本実施形態における多点ひずみ測定システムの構成は、基本的には第 1 の実施形態のシステム構成と同一 *

$$\varepsilon_x = (\varepsilon - \text{温度 } t \text{ における見掛けひずみ}) \cdot k(t) \cdots \cdots (6)$$

ここで、式 (6) における見掛けひずみは、物体に外部応力による真のひずみが生じていない状態で、物体の熱ひずみやひずみゲージ 1 自身の熱ひずみ等、外部応力以外の要因に起因して現れる測定信号 Δe から把握されるひずみ量（通常の意味でのひずみ量）であり、この見掛けひずみの温度 t における値は、例えば各ひずみ測定モジュール 24 毎に記憶回路 14 の EEPROM にあらかじめ記憶保持しておいたデータテーブルや演算式等を用いて、前記温度検出信号に基づく温度 t から求める。また、式 (6) における $k(t)$ は、測定感度の補正を行うための係数（温度 t の関数）で、この補正係数 $k(t)$ の値も、各ひずみ測定モジュール 24 毎に記憶回路 14 の EEPROM にあらかじめ記憶保持しておいたデータテーブルや演算式等を用いて、温度検出信号に基づく温度 t から求める。

【0106】尚、EEPROM に記憶保持する内容は、

* で、例えば前記図 1 に示した各ひずみ測定モジュール 3 を本実施形態のひずみ測定モジュール 24 で置き換えた形の構成とされる。従って、本実施形態での説明では、ひずみ測定モジュールを除くシステム構成については、図 1 と同一の参照符号を使用する。

【0101】本実施形態の多点ひずみ測定システムでは、各測定点のひずみ測定モジュール 24 のモジュール本体部 25 では、前記第 1 の実施形態で説明した測定データ処理装置 4 から前記測定開始指令が与えられたとき、次のように測定出力データが生成される。

【0102】すなわち、モジュール本体部 25 の制御回路 13 は、前記切替器 27 をホイートストンブリッジ回路 7 側及び温度センサ 26 側に順次切替えて、前記測定信号 Δe 及び温度検出信号を順次 A/D 変換器 11 によりデジタルデータに変換させ、それらのデジタルデータを取得する。

【0103】次いで、制御回路 13 は、前記第 1 の実施形態で説明したように例えば前記式 (4)' によりひずみ量 ε を求める。ここで、例えば物体の温度が比較的大きく変化するような測定環境条件では（このような条件下での測定では一般に、ひずみゲージ 1 として所謂、高温ひずみゲージが用いられる）、測定信号 Δe のデータから得られるひずみ量 ε には、物体に作用する外部応力によるものの他、物体の熱ひずみやひずみゲージ 1 自身の熱ひずみ等による成分が含まれる。また、ひずみゲージ 1 の温度特性等に起因して、測定感度も変化する。

【0104】そこで、本実施形態では、各ひずみ測定モジュール 24 の制御回路 13 は、前記温度検出信号のデジタルデータにより示される温度 t を用いて、次式 (6) の補正演算を行うことで、外部応力による真のひずみ量 ε_x を求める。

【0105】

用途や必要性に応じて随時、書き直すようにしてもよい。

【0107】そして、各ひずみ測定モジュール 24 の制御回路 13 は、上記のようにして求めた真のひずみ量 ε_x のデータ（デジタルデータ）を測定出力データとして記憶回路 14 の RAM に記憶保持させ、その記憶保持した測定出力データを、前記第 1 の実施形態と同様に、測定データ処理装置 4 から各ひずみ測定モジュール 24 毎の識別データを含む前記出力操作指令が与えられたときに、測定データ処理装置 4 に前記副通信線 5 及び主通信線 6 を介して出力する（この場合、必要に応じて前記温度検出信号のデジタルデータをも出力するようにしてもよい）。

【0108】これにより測定データ処理装置 4 側では、各測定点毎の物体の真のひずみ量 ε_x を示すデータが得られることとなる。

【0109】このような本実施形態によれば、前記第1あるいは第2の実施形態と同様の作用効果を奏する他、各測定点のひずみ測定モジュール24において、物体の温度 t に応じた補正処理が行われるため、測定データ処理装置4側で各測定点毎に温度に応じた補正処理を行う必要がなくなつて、後処理が極めて容易なものとなる。しかも、各測定点毎の物体の温度 t に応じた補正処理は、各ひずみ測定モジュール24において、独立に並列処理的に行われるので、該補正処理を効率よく行うことができる。

【0110】尚、本実施形態では、物体の温度 t に応じた補正処理を前述の如く行うようにしたが、例えば物体の熱ひずみのみによる影響を除去して真のひずみ量 ϵ_x を求めるような場合には、記憶回路14のEEPROMに物体の線膨張係数($1/^\circ\text{C}$)をあらかじめ記憶保持しておくと共に、前記第1の実施形態で説明したような初期設定処理の際に、物体の温度 t の初期値を記憶回路14に記憶保持しておき、測定時に、温度 t の初期値と現在値との偏差、並びに上記線膨張係数から、物体の熱ひずみを求め、それを前記ひずみ量 ϵ から減算することで、真のひずみ量 ϵ_x を求めるようにしてもよい。

【0111】また、本実施形態では、真のひずみ量 ϵ_x (通常の意味でのひずみ量)を測定出力データとして求めるようにしたが、例えば物体のヤング率 E を温度 t の関数として、あらかじめ記憶回路14のEEPROMにデータテーブルや演算式等により記憶しておくと共に、測定時の温度検出信号に基づく温度 t からその温度 t におけるヤング率 E を求め、その求めたヤング率 E を真のひずみ量 ϵ_x に乗算することで、物体の測定点に作用した外部応力を求めるようにしてもよい。そして、その求めた外部応力を測定出力データとしてひずみ測定モジュール24のモジュール本体部25から出力するようにしてもよい。

【0112】さらには、物体の測定点に作用する応力があらかじめ判っているような場合(例えば応力が一定である場合)には、本実施形態の場合と逆に、各測定点のひずみ測定モジュールにおいて、物体の熱ひずみを測定出力データとして求めるようにすることも可能である。

【0113】また、本実施形態では、各ひずみ測定モジュール24において、物体の温度 t に応じた補正処理を行うようにしたが、各ひずみ測定モジュール24のモジュール本体部25から測定信号 Δe のデジタルデータあるいは、これに基づくひずみ量 ϵ のデータと共に、温度検出信号のデジタルデータを測定データ処理装置4に出力し、測定データ処理装置4側で前述のような補正処理を行うようにしてもよい。このようにした場合であっても、各ひずみ測定モジュール24から測定データ処理装置4に与えられるデータはデジタルデータであるため、それらの間の接続線(前記副通信線5や主通信線6)による影響を排除して、精度の良い測定を安定して行うこ

とが可能である。

【0114】また、物体の温度が比較的大きく変化するような測定環境条件で本実施形態のひずみ測定モジュール24を用いて測定を行う場合には、モジュール本体部25は、温度の影響を受け難い構造としたり、あるいは温度の影響を受け難い箇所に設置することが好ましい。

【0115】また、以上説明した第1乃至第3の実施形態では、1ゲージ法による測定について説明したが、2ゲージ法や4ゲージ法を用いてもよい。この場合、第1乃至第3の実施形態では1ゲージ法を用いているため、3個の抵抗8, 8, 8をモジュール本体部2, 25に備えたが、例えば2ゲージ法による測定では、2個のひずみゲージと併せてホイートストンブリッジ回路を構成するために2個の抵抗を備えておけばよく、また、例えば4ゲージ法による測定では、4個のひずみゲージにおいてホイートストンブリッジ回路を構成するため、抵抗を備えておく必要はない。

【0116】次に、本発明の第4の実施形態を図6を参照して説明する。尚、本実施形態は、前記第1あるいは第2の実施形態のものとひずみ測定モジュールの構成及び機能の一部のみが相違するもので、同一構成部分については第1あるいは第2の実施形態と同一の参照符号及び図面を用いて詳細な説明を省略する。

【0117】図6は本実施形態におけるひずみ測定モジュール28の回路構成を示すものであり、このひずみ測定モジュール28では、物体の測定点に貼着するひずみゲージは3個のひずみゲージ1a, 1b, 1cから成るロゼットゲージ29で、これをその近傍でモジュール本体部30に接続している。尚、本実施形態のロゼットゲージ29は、3個のひずみゲージ1a, 1b, 1cを45°ずつ方位角をずらして物体に貼着する所謂、直角ロゼットを採用している。

【0118】この場合、モジュール本体部30は、前記図2に示した回路構成、すなわち前記ホイートストンブリッジ回路7(抵抗8, 8, 8を含む)、ブリッジ電源回路9、増幅器10、A/D変換器11、制御回路13、記憶回路14、インターフェース回路15、及び主電源回路17に加えて、切替器31を備えている。この切替器31は、ロゼットゲージ29の3個のひずみゲージ1a, 1b, 1cと抵抗8, 8, 8との間に介装され、前記ホイートストンブリッジ回路7を構成すべきひずみゲージ1a, 1b, 1c(抵抗8, 8, 8に導通させるひずみゲージ1a, 1b, 1c)を、制御回路13の制御により選択的に順次切り替えるようにしている。

【0119】そして、本実施形態では、制御回路13は、詳細は後述するが、ロゼットゲージ29の各ひずみゲージ1a, 1b, 1cを切替器31を介して順次抵抗8, 8, 8に導通させて、各ひずみゲージ1毎に測定信号 Δe を生成させ、それらの測定信号 Δe のデジタルデータから各測定点の物体の主ひずみ量、剪断ひずみ量及

び主ひずみの方向を測定出力データとして求めるようにしている。

【0120】尚、本実施形態におけるひずみ測定モジュール28の構造に関しては、例えば前記第1あるいは第2の実施形態と同様に、ロゼットゲージ29をブロック状のコーティング部材により被覆してモジュール本体部30に一体的あるいは着脱自在に装着することが好ましい。あるいは、ロゼットゲージ29の各ひずみゲージ1a, 1b, 1cを単にモジュール本体部30の近傍で接続線やコネクタを介してモジュール本体部30に接続するようにしてもよい。

【0121】このようなひずみ測定モジュール28を用いた本実施形態における多点ひずみ測定システムの構成は、基本的には第1の実施形態のシステム構成と同一で、例えば前記図1に示した各ひずみ測定モジュール3を本実施形態のひずみ測定モジュール28で置き換えた形の構成とされる。従って、本実施形態での説明では、ひずみ測定モジュールを除くシステム構成については、図1と同一の参照符号を使用する。

【0122】本実施形態の多点ひずみ測定システムでは、各測定点のひずみ測定モジュール28のモジュール*

$$\gamma_{\max} = [2 \{ (\epsilon_a - \epsilon_c)^2 + (\epsilon_b - \epsilon_c)^2 \}]^{1/2} \quad \dots\dots (7)$$

$$\epsilon_{\max} = (\epsilon_a + \epsilon_b + \gamma_{\max}) / 2 \quad \dots\dots (8)$$

$$\epsilon_{\min} = (\epsilon_a + \epsilon_b - \gamma_{\max}) / 2 \quad \dots\dots (9)$$

$$\phi_p = (1/2) \tan^{-1} [(2\epsilon_c - \epsilon_a - \epsilon_b) / (\epsilon_a - \epsilon_b)] \quad \dots\dots (10)$$

そして、制御回路13は、このようにして求めた最大剪断ひずみ量 γ_{\max} 、主ひずみ量の最大値 ϵ_{\max} 及び最小値 ϵ_{\min} 、並びにひずみゲージ1aから主ひずみの方向までの角度 ϕ_p のデータを測定出力データとして記憶回路14のRAMに記憶保持させ、それを、前記第1の実施形態と同様に、前記測定データ処理装置4からの出力動作指令に応じて該測定データ処理装置4に出力する。

【0127】これにより、測定データ処理装置4では、各測定点毎の、最大剪断ひずみ量 γ_{\max} 、主ひずみ量の最大値 ϵ_{\max} 及び最小値 ϵ_{\min} 、並びにひずみゲージ1aから主ひずみの方向までの角度 ϕ_p のデータが得られることとなる。

【0128】このような本実施形態によれば、前記第1あるいは第2の実施形態と同様の作用効果を奏する他、各測定点のひずみ測定モジュール28において、ロゼット解析処理が行われるため、測定データ処理装置4側で各測定点毎に最大剪断ひずみ量 γ_{\max} 、主ひずみ量の最大値 ϵ_{\max} 及び最小値 ϵ_{\min} 、並びにひずみゲージ1aから主ひずみの方向までの角度 ϕ_p を求めるための処理を行う必要がなくなって、後処理が極めて容易なものとなる。しかも、各測定点毎のロゼット解析処理は、各ひずみ測定モジュール28において、独立に並列処理的に行われるので、該ロゼット解析処理を効率よく行うこと

* 本体部30では、前記第1の実施形態で説明した測定データ処理装置4から前記測定開始指令が与えられたとき、次のように測定出力データが生成される。

【0123】すなわち、モジュール本体部30の制御回路13は、前記切替器29を順次切替えて、各ひずみゲージ1a, 1b, 1c毎に前記測定信号 Δe を生成させ、それをA/D変換器11により変換させたデジタルデータを取得する。

【0124】次いで、制御回路13は、各ひずみゲージ1a, 1b, 1c毎の測定信号 Δe のデータから、前記第1の実施形態の場合と同様に、各ひずみゲージ1a, 1b, 1cに対応するひずみ量 ϵ_a , ϵ_b , ϵ_c を求める。

【0125】さらに制御回路13は、上記のひずみ量 ϵ_a , ϵ_b , ϵ_c から、次式(7)～(10)の公知の演算(ロゼット解析処理)により、各測定点における物体に最大剪断ひずみ量 γ_{\max} 、主ひずみ量の最大値 ϵ_{\max} 及び最小値 ϵ_{\min} 、並びにひずみゲージ1aから主ひずみの方向までの角度 ϕ_p (ひずみゲージ1aの方向と主ひずみの方向とがなす角度)を求める。

【0126】

ができる。

【0129】尚、本実施形態では、ロゼットゲージ29として直角ロゼットを用いたが、この他にも、3個のひずみゲージを用いたデルタロゼットや、測定精度をより高めるために4個のひずみゲージを用いた二重直角ロゼット、Tデルタロゼットが知られており、これらの方式を採用するようにしてもよい。

【0130】また、本実施形態では、各測定点毎に最大剪断ひずみ量 γ_{\max} 、主ひずみ量の最大値 ϵ_{\max} 及び最小値 ϵ_{\min} 、並びにひずみゲージ1aから主ひずみの方向までの角度 ϕ_p のすべてを求めるようにしたが、必要に応じてこれらのうちの一部を省略する(例えば最大剪断ひずみ量 γ_{\max} は求めない等)ようにしてもよい。

【0131】また、本実施形態では、最大剪断ひずみ量 γ_{\max} や、主ひずみ量の最大値 ϵ_{\max} 及び最小値 ϵ_{\min} を測定出力データとして求めるようにしたが、最大剪断応力や、主応力の最小値、最大値をロゼット解析処理(この場合の演算式はここでは省略するが公知である)により、各ひずみ測定モジュールにおいて測定出力データとして求めるようにしてもよい。

【0132】さらに、本実施形態において、前記第3の実施形態と同様に各ひずみ測定モジュール28に温度センサを備え、検出温度に基づく補正処理を行って主ひず

み量等を求めるようにしてもよい。

【0133】また、以上説明した第1乃至第4の各実施形態では、ひずみ測定モジュール3、21、24、28を測定データ処理装置4に共通の通信線5、6を介して接続するようにしたが、単に接続線の影響を排除して精度のよい安定した測定を行う上では、各ひずみ測定モジュール3、21、24、28を各別の通信線を介して測定データ処理装置に接続するようにしてもよい。さらには、各ひずみ測定モジュール3、21、24、28と測定データ処理装置4との間の通信を無線で行うようにしてもよい。

【0134】また、第1乃至第4の各実施形態では、建造物等の物体の複数部位のひずみ量を測定するものを示したが、複数の物体についてのひずみ量の多点測定を行う場合にも、本発明のひずみ測定モジュールや多点ひずみ測定システムを適用することができることはもちろんである。

【0135】また、前記第1乃至第4の各実施形態では、各ひずみ測定モジュール3、21、24、28の電源電力を測定データ処理装置4から一括して供給するようにしたが、各ひずみ測定モジュール3、21、24、28毎に電源電池を内蔵するようにしてもよい。

【0136】また、前記第1乃至第4の各実施形態では、各ひずみ測定モジュール3、21、24、28を多点ひずみ測定に適用したものを示したが、本発明のひずみ測定モジュールは、物体のひずみ量の単点測定を行う*

* 場合にも適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1及び第2の実施形態における多点ひずみ測定システムの全体構成を示すシステム構成図。

【図2】本発明の第1の実施形態において図1のシステムで用いるひずみ測定モジュールの回路構成図。

【図3】図2のひずみ測定モジュールの構造を示す断面図。

【図4】本発明の第2の実施形態におけるひずみ測定モジュールの構造を示す断面図。

【図5】本発明の第3の実施形態におけるひずみ測定モジュールの回路構成図。

【図6】本発明の第4の実施形態におけるひずみ測定モジュールの回路構成図。

【図7】1ゲージ法によるひずみ測定の原理を説明するための回路図。

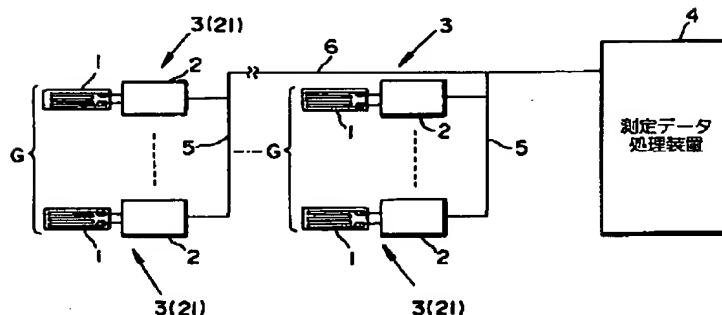
【図8】従来の多点ひずみ測定システムの構成図。

【符号の説明】

1、1a～1c…ひずみゲージ、2、25、30…モジュール本体部、3、21、24、28…ひずみ測定モジュール、4…測定データ処理装置、5、6…通信線、11…A/D変換器、12…測定信号生成用回路、14…記憶回路（記憶手段）、16…データ出力処理手段、17…主電源回路（電源手段）、18…コーティング部材、22…電極片（接続部）、26…温度センサ、29…ロゼットゲージ。

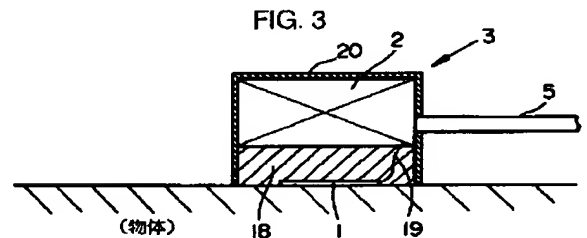
【図1】

FIG. 1



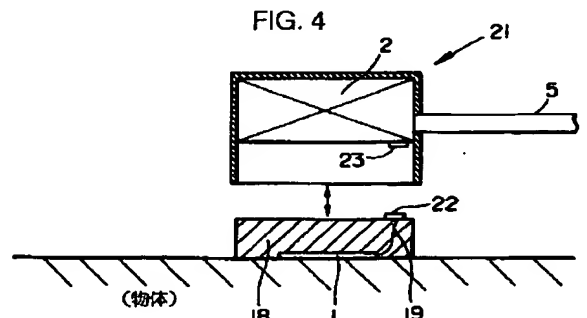
【図3】

FIG. 3

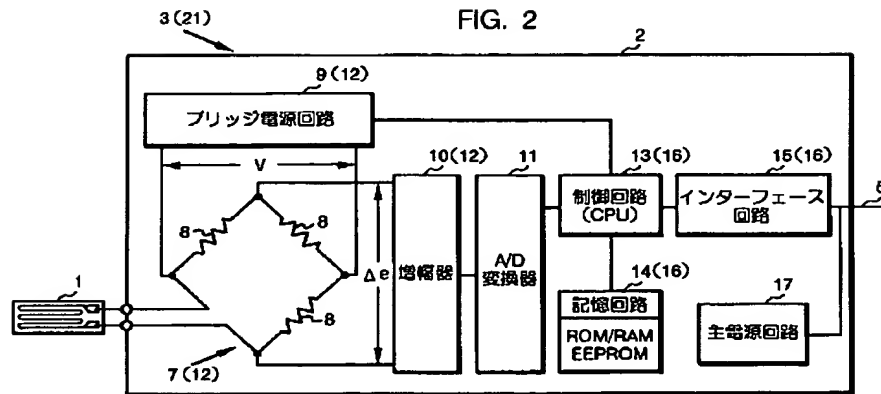


【図4】

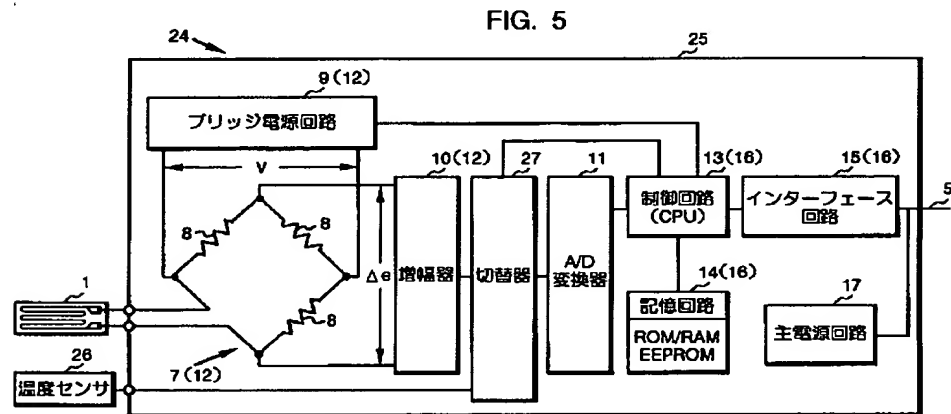
FIG. 4



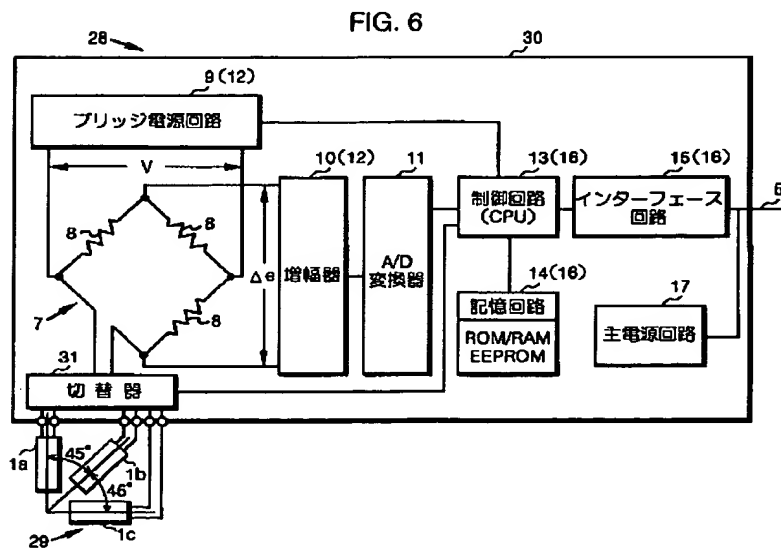
【図 2】



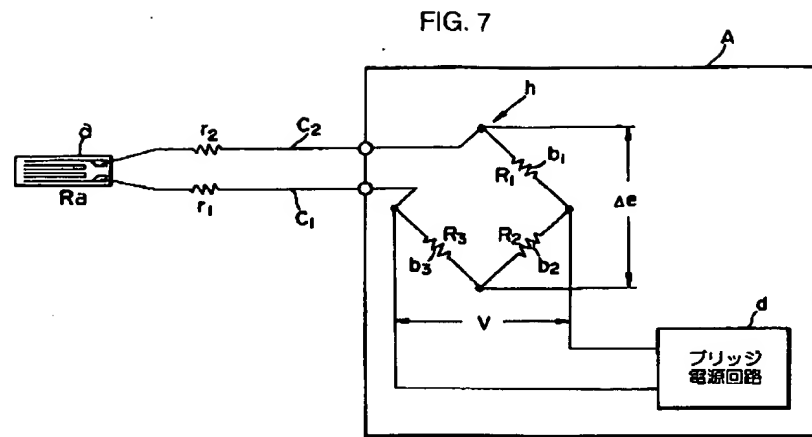
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

FIG. 8

